

Utilización de curvas de aprendizaje e intervalos de confianza en un estudio de tiempos para el cálculo de tiempos estándar

Using learning curves and confidence intervals in a time study for the calculation of standard times

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.02>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 26 de marzo de 2017. Fecha de Aceptación: 2 de mayo de 2017.

Mitzy Natalia Roncancio Ávila 
Universidad de la Salle, Bogotá, (Colombia)
mroncancio96@unisalle.edu.co

Diana Katherine Reina Moreno 
Universidad de la Salle, Bogotá, (Colombia)
dreina32@unisalle.edu.co

Andrés Mauricio Hualpa Zúñiga 
Universidad de la Salle, Bogotá, (Colombia)
amhualpa@unisalle.edu.co

Heriberto Alexander Felizzola Jiménez 
Universidad de la Salle, Bogotá, (Colombia)
healfelizzola@unisalle.edu.co

Carlos Andrés Arango Londoño 
Universidad de la Salle, Bogotá, (Colombia)
cararango@unisalle.edu.co

Para citar este artículo:

M.N. Roncancio Ávila, D. K. Reina Moreno, A. M. Hualpa Zúñiga, H.A. Felizzola Jiménez y C.A Arango Londoño, "Utilización de curvas de aprendizaje e intervalos de confianza en un estudio de tiempos para el cálculo de tiempos estándar," *INGE CUC*, vol. 13, no. 2, pp. 18-27, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.02>.

Resumen

Introducción– El presente artículo explora el uso de curvas de aprendizaje e intervalos de confianza en un estudio de tiempos llevado a cabo en una línea de ensamble a escala durante una práctica de laboratorio en la Universidad de La Salle.

Objetivo– Esta investigación tiene por objetivo mostrar la utilización de intervalos de confianza y curvas de aprendizaje para la identificación de procesos estables y posterior estandarización de los tiempos de los mismos.

Metodología– La metodología empleada consta de dos fases, así, en la primera fase para el análisis del estudio de tiempos, se hace el cálculo del número de ciclos, la depuración de datos atípicos y el uso de las curvas para determinar los procesos aptos para la estandarización; y en la segunda fase, es decir, el establecimiento de tiempos estándar, se realiza el cálculo de los tiempos estándar.

Resultados– El análisis permitió determinar que solo es posible estandarizar dos de los cinco procesos del sistema objeto del estudio debido a la variabilidad que estos presentaban.

Conclusiones– Es posible concluir, gracias a la presente investigación, que un proceso debería ser estandarizado solamente si presenta un comportamiento estable en cuanto al ritmo normal de trabajo, el cual se pone en evidencia con la curva de aprendizaje; de no ser así, se obtendrán tiempos estándar parciales.

Palabras clave– Ingeniería de métodos, estudio de tiempos, curvas de aprendizaje, análisis estadístico, intervalos de confianza.

Abstract

Introduction– This article explores the use of learning curves and confidence intervals in a time study carry out in a scale assembly line during a laboratory practice at the University of La Salle.

Objective– The objective of this research is to show the use of confidence intervals and learning curves for the identification of stable processes and subsequent standardization of timing

Methodology– The methodology used consists in two phases: Analysis for the study of times and establishment of standard times; the first consist in the calculation of the number of cycles, depuration of atypical data and the use of the curves to determine the processes suitable for the standardization, and the second phase is the calculation of the standard times.

Results– The analysis allowed to determine that is only possible to standardize two of the five processes of the system under study because of the variability of them.

Conclusions– Given the research, is possible to conclude that a process should be standardized only if it presents a stable behavior respect to the normal rhythm of work, which is showed in the learning curve; otherwise, the process will obtain partial standard times.

Keywords– Methods engineering, time study, Learning curves, statistical analysis, confidence intervals.

I. Introducción

Para la ingeniería industrial, Frederick W. Taylor ha sido uno de los mayores exponentes al aplicar el método científico en la administración de las empresas, dando origen a lo que se conoce como la *administración científica*, que tiene como objetivo reducir desperdicios aumentando la productividad de las compañías; es decir, pretende sobreponer la ciencia sobre el empirismo. Con la motivación de innovar al cambiar los métodos empíricos por métodos científicos, se originó lo que se conoce como la *organización racional del trabajo* (ORT), cuyos principales aspectos son: el análisis del trabajo y estudio de tiempo y movimiento, el estudio de la fatiga humana, la división del trabajo y especialización del obrero, el diseño de cargos y tareas, los incentivos salariales y premios por producción, el concepto de *Homo economicus*, las condiciones ambientales de trabajo, la racionalidad del trabajo, la estandarización de métodos y de máquinas y la supervisión funcional [1].

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente expuestos, se toma el estudio de tiempos como una de las piezas clave para lograr la eficiencia en el trabajo, puesto que ayuda en el establecimiento de estándares de tiempos de producción adecuados, dando un tiempo específico para realizar cada tarea y teniendo en cuenta holguras por fatiga y retrasos personales. Para realizar un estudio de tiempos es fundamental haber aplicado las mejoras al proceso mediante el análisis de operaciones, es decir, haber estandarizado previamente el método y las condiciones de trabajo; adicionalmente, se deben cumplir con las siguientes etapas: seleccionar el operario que preferiblemente tenga un desempeño promedio, registrar información significativa sobre el puesto y las condiciones de trabajo, estudiar la operación y dividirla en grupos de movimientos conocidos como elementos, calcular el número de ciclos adecuados, registrar el tiempo que conlleva hacer cada elemento, calificar el desempeño del operario para ajustar el tiempo observado a un nivel estándar y, por último, adicionar las holguras que corresponden a las necesidades personales del operario, la fatiga y/o problemas técnicos. Finalmente, se realizan los cálculos correspondientes y se obtiene el tiempo estándar [2].

Es claro que durante el estudio de tiempos, en la ejecución de una operación, se presente una situación o “elemento extraño”, haciendo que el operario pierda su ritmo normal de trabajo; esto conduce a que en el registro de los tiempos se encuentren datos atípicos, los cuales se hace necesario excluir del estudio. Para determinar la existencia de datos atípicos se recurre al uso de métodos estadísticos, como es el caso del criterio 1,5IQR de rangos intercuartílicos o la regla de tres sigma [2], esto permitirá que los datos extremos no alteren los resultados.

Es de notar que un estudio de tiempos es fundamental para las empresas debido a que, con tiempos estándar, se pueden realizar cálculos de producción; estimar plazos de entrega, tanto para clientes internos como externos; hacer presupuestos de requerimientos

y costos de mano de obra; y medir indicadores de productividad, siendo estos factores de vital importancia en la gestión de una organización.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que otro de los aspectos de la ORT es la división del trabajo y la especialización del obrero, lo cual significa que el operario realiza unas funciones y tiene unas responsabilidades muy concretas para que, con la repetición y la práctica, pueda potencializar sus resultados; esto conlleva a lo que se denomina *curva de aprendizaje*. La curva de aprendizaje se le atribuye a T. P. Wright, con una publicación en 1936 en donde se analiza la producción repetitiva en la construcción de aviones, obteniendo como hipótesis que “las horas-hombre necesarias para completar una unidad de producción, decrecerían en un porcentaje constante cada vez que la producción se doblara” [3], es decir, el tiempo de producción por unidad disminuye gracias a la acción repetitiva de la operación, la cual conduce a una mayor experiencia y un aprendizaje por parte del operario en aspectos tales como el mejoramiento de ejecución de procesos y el uso de materiales [4]. La *tasa de aprendizaje* es esa proporción de tiempo en que varía la producción de una unidad a otras.

Por último, se puede observar que las curvas de aprendizaje son utilizadas en múltiples contextos, tanto laborales y académicos como en la vida cotidiana. En su forma más elemental, ésta relaciona las horas-hombre invertidas con el volumen producido, sin embargo, también se encuentran las curvas de experiencia que, a diferencia de la anterior, tienen en cuenta los costos de supervisión, de administración, de horas de mano de obra directa y gastos generales [4].

Ahora bien, teniendo en cuenta la importancia del estudio de tiempos y las curvas de aprendizaje en la apropiada gestión de las organizaciones, surge el interrogante sobre cuándo es preciso realizar un estudio para calcular los tiempos estándar de tal forma que dichos tiempos sí correspondan con la operación óptima de los procesos, es decir, cómo saber si en las estaciones de trabajo se ha alcanzado el potencial de desempeño de tal manera que su comportamiento sea estable y permita mantener un ritmo normal de trabajo, y, por el contrario, no se caiga en el error de estandarizar un proceso que no ha conseguido normalizar su ritmo de operación obteniendo de esta forma tiempos estándar erróneos que no corresponden a la realidad del proceso.

El presente artículo pretende mostrar el uso de curvas de aprendizaje e intervalos de confianza en un estudio de tiempos llevado a cabo en una línea de ensamble a escala durante una práctica de laboratorio para el área de ingeniería de métodos; esto con el fin de evaluar qué procesos se encuentran listos para estandarizar y así realizar el respectivo cálculo de los tiempos estándar. La información contenida en este artículo podría utilizarse en estudios posteriores en el sector de manufactura y servicios para evaluar el impacto real de la curva de aprendizaje y los intervalos de confianza en la estandarización de procesos reales.

UTILIZACIÓN DE CURVAS DE APRENDIZAJE E INTERVALOS DE CONFIANZA EN UN ESTUDIO DE TIEMPOS PARA EL CÁLCULO DE TIEMPOS ESTÁNDAR

En la primera sección del artículo se realiza una revisión de los antecedentes, en la cual se exponen artículos, tesis y documentos relacionados con el análisis de estudios de tiempos, curvas de aprendizaje e intervalos de confianza; en la segunda parte se da conocimiento de la metodología utilizada en la que se integran estas tres herramientas ingenieriles; en la siguiente sección, se muestran los resultados del análisis realizado, estandarizando únicamente los procesos que presentan estabilidad con la curva de

aprendizaje y datos dentro del intervalo de confianza calculado; y finalmente, se presentan las conclusiones.

II. Revisión Literaria

Es necesario poner en evidencia la importancia de los estudios de tiempos y las curvas de aprendizaje, y de cómo su uso adecuado ayuda a mejorar de forma sustancial la eficiencia de las organizaciones en aquellas áreas donde se tenga mayores dificultades.

TABLA 1. REVISIÓN LITERARIA DE ESTUDIO DE TIEMPOS Y CURVAS DE APRENDIZAJE.

Título	Herramientas de ingeniería empleadas	Sector
Aplicación de la lúdica en la curva de aprendizaje [4]	Curvas de aprendizaje	Sector educativo
Estudio de tiempos y movimientos en el área de evaporado: Empresa: SeAH precisión México S.A. de C.V. [5]	Estudio de tiempos y movimientos Diagrama de Gantt Diagramas de operaciones Diagramas de flujo de operaciones	Sector industrial
Estudio de tiempos en el área de urgencia hospitalaria [6]	Estudio de tiempos Cuestionarios específicos para la recolección de datos Prueba chi cuadrado	Sector hospitalario. Área de urgencias.
Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café [7]	Estudio de tiempos Estudio de movimientos: macro movimientos y micro movimientos Optimización Estudios ergonómicos Diagrama Ishikawa Diseño de experimentos Indicadores de desempeño Diagrama bimanual	Sector agrícola. Cultivo de café.
Técnicas de estudio de tiempos para la planificación de la mano de obra en el cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) de invernadero [8]	Estudio de tiempos Gráficos de control (regla tres sigma) Cálculo de tiempos estándar	Sector agrícola. Cultivo de tomate.
Estudio de tiempos y movimientos de la recolección manual del café en condiciones de alta pendiente [9]	Estudio de métodos: macro movimientos y micro movimientos Estudio de tiempos Prueba de concordancia de Kendall Prueba de Duncan Indicadores de eficiencia, eficacia, pérdidas y calidad Análisis de ergonomía	Sector agrícola. Cultivo de café.
Identificación de las causas que alteran el rendimiento de los equipos de extracción de madera. Estudio de tiempos y movimientos [10]	Estudio de tiempos Estudio de movimientos: diagramas de movimientos Estudio de rendimientos Estadística descriptiva	Sector industrial. Industria maderera.
Estudio de métodos y tiempos para la obtención de carne de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) empacada a vacío [11]	Estudio de tiempos Diagrama de operaciones	Sector industrial. Industria cárnica.
Estudio de tiempos y movimientos para mejorar el proceso de organización, almacenamiento y despacho de productos terminados en una fábrica de artículos plásticos para el hogar [12]	Estudio de tiempos y movimientos Distribución en planta Diagrama de flujo de operaciones Indicadores de rentabilidad	Sector industrial. Industria de plásticos.
Aprendizaje en microempresas de Baja California [13]	Curvas de aprendizaje	Sector microempresario
Histerectomía laparoscópica total, curva de aprendizaje: Experiencia en la Clínica del Prado, Medellín, Colombia [14]	Curvas de aprendizaje Intervalos de confianza Estadística descriptiva	Sector hospitalario. Área quirúrgica.
Cálculo de economías de escala y curvas de aprendizaje con el programa ViSta [15]	Curvas de aprendizaje Análisis estadístico de datos Función de producción Cobb-Douglas	Sector educativo

Fuente: Autores

En la tabla 1 se presentan algunos trabajos relacionados con la temática de estudio abordada.

De la tabla 1 se destacan dos documentos que utilizan las mismas técnicas estadísticas y matemáticas que en el presente artículo. El primero es “Aplicación de la lúdica en la curva de aprendizaje” [4], en el cual se utiliza la teoría de las curvas de aprendizaje para comparar los datos experimentales obtenidos en la lúdica con los datos teóricos ofrecidos por la ecuación de la curva de aprendizaje. El segundo artículo destacado de la revisión es el de “Técnicas de estudio de tiempos para la planificación de la mano de obra en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) de invernadero” [8], en éste se utiliza la técnica estadística de la regla tres sigma para el tratamiento de los datos atípicos, eliminando aquellos que se encuentran fuera de los límites de control para asegurar que todos los datos se encuentran dentro del intervalo, este análisis se realizó por medio del software SPSS.

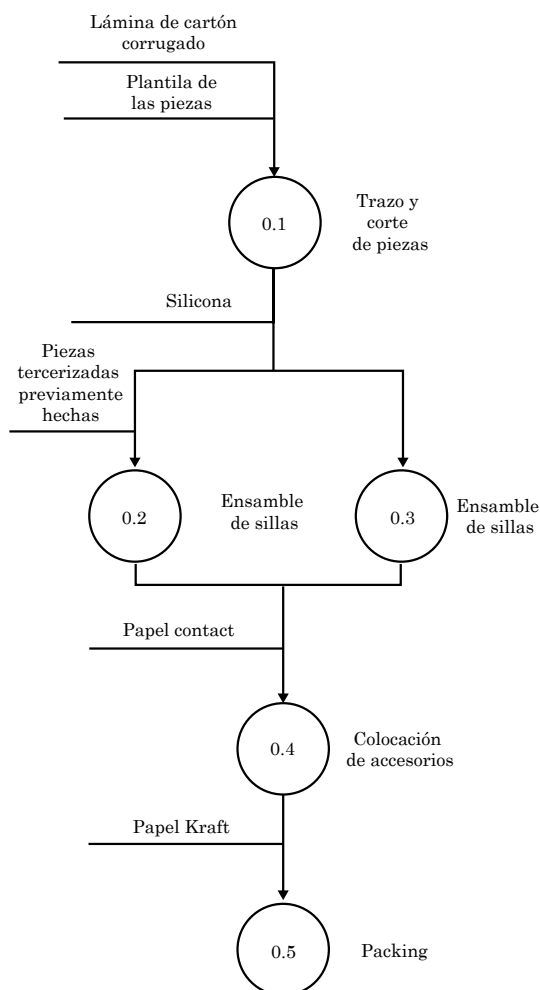


Fig. 1. Diagrama de operaciones del proceso de fabricación de SINAA Ltda.
Fuente: Autores.

III.Descripción del Sistema

SINAA Ltda. es una empresa ficticia dedicada a la fabricación de comedores. Su línea de producción está compuesta por cinco operaciones (trazo y corte, ensamble de sillas, ensamble de mesas, colocación de accesorios y *packing*), y cuenta con cinco estaciones de trabajo:

- Estación A: trazo y corte
- Estación B: ensamble de sillas
- Estación C: ensamble de mesas
- Estación D: accesorios
- Estación E: *packing*

En la fig. 1 se resume el proceso de fabricación de la empresa SINAA Ltda. El proceso de producción inicia con la estación de trazo y corte (estación A), en donde el operario asignado se encarga de trazar sobre el material las dimensiones de las piezas que conformarán el comedor (mesa y sillas) para posteriormente realizar los cortes.

En el siguiente proceso se realiza el ensamble de las sillas (estación B) y de las mesas (estación C) con las piezas correspondientes; se debe tener en cuenta que se han tercerizado piezas de la mesa dada su complejidad y falta de tiempo. El transporte de las piezas desde la estación A hasta las estaciones B y C se realiza mediante una banda transportadora, de igual forma, el material proveniente de las estaciones B y C se transportan a la estación D por medio de la misma banda transportadora. En el proceso siguiente, se encuentra la estación de accesorios (estación D), que se encarga de colocar el sillín (a las 4 sillas) y el tablero decorativo de la mesa de dos colores diferentes (blanco y azul). Finalmente, se encuentra el proceso de *packing* (estación E), en el cual se realiza el empaque del comedor de acuerdo con el color de los accesorios, es decir, un comedor azul debe de llevar en su empaque el color azul y, de igual forma, con el color blanco.

IV. Metodología

En la Universidad de La Salle se ha diseñado y construido una línea de ensamble a escala con herramientas Fischertechnik con el fin de consolidar un laboratorio donde los estudiantes de ingeniería industrial puedan poner en práctica los conocimientos teóricos que fueron adquiridos en las diferentes asignaturas para así tener una formación más completa. Sobre esta línea de ensamble se ha creado la empresa ficticia SINAA Ltda.

Fase 1: análisis para el estudio de tiempos

A. Se debe establecer el operario con el mejor desempeño en cada una de las estaciones de trabajo. Se debe tener en cuenta que éste tiene que estar familiarizado previamente con las operaciones a realizar en su estación de proceso.

- B. Se debe asignar un analista por cada estación, quien se encargará de medirle los tiempos al operario en la estación de trabajo. Esta persona, además, debe registrar las máquinas, las herramientas manuales, las condiciones de trabajo, los materiales, las operaciones, el nombre del operario, la fecha del estudio y el nombre del observador.
- C. Para el estudio de tiempos es necesario calcular el número de ciclos, lo cual se ejecutará de la siguiente forma:
- Se realiza una prueba piloto en la cual se fabrica un solo comedor, registrando los tiempos que llevó hacer la operación en cada estación del proceso.
 - De acuerdo con los tiempos registrados anteriormente y con base en la tabla sugerida por General Electric Company sobre el "número recomendado de ciclos de observación" [2], se determina el número de ciclos por estación.
 - Se ejecuta la cantidad de ciclos definidos anteriormente para cada estación registrando los tiempos correspondientes.
 - Dada la posibilidad de tener datos atípicos, se deben verificar los datos para descartar aquellos que sean erráticos, con lo cual se utilizará la regla de tres sigma para un intervalo de confianza del 95%.
 - Una vez se tengan todas las observaciones, como complemento del estudio, se procede a validar el número necesario de observaciones mediante el uso de métodos estadísticos que se reducen en (1):

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

s = desviación estándar de la muestra

\bar{x} = media de la muestra

t = factor de la distribución *t-Student* o normal dependiendo el tamaño de la muestra

k = nivel de significancia

Fuente: [2]

Lo anterior significa que por cada estación de trabajo se debe recalcular el número de ciclos.

- En dado caso de que el número de ciclos recalculado sea mayor a los ciclos ya registrados, se deben completar los registros de los ciclos faltantes.
- Con los datos finales se procede a graficar las curvas de aprendizaje y se analiza el comportamiento de las mismas. Cuando la curva tiende a estabilizarse hacia el final de la gráfica, se infiere que el proceso está listo para estandarizarse, y, si por el contrario, la gráfica sigue teniendo alteraciones muy notorias se entiende que el proceso aún no es apto para su estandarización.

Fase 2: establecimiento de tiempos estándar

- A. Una vez se es consciente de cuáles son los procesos que están listos para estandarizarse, el analista debe dar una calificación justa e imparcial al

desempeño del operario por ciclo. El valor de la calificación se expresa como un decimal o un porcentaje y se asigna al proceso observado. Existen varios métodos de calificación, sin embargo, en el presente estudio se utilizará la calificación sintética definida en (2).

$$P = \frac{F_i}{O} \quad (2)$$

Donde:

P = factor de desempeño o de calificación

F_i = tiempo del movimiento fundamental o tiempo observado

O = tiempo elemental medio observado para los elementos usados en F_i

Fuente: [2]

- B. Con base en los datos de los tiempos observados (TO) y la calificación asignada por ciclo (C), se procede a hallar tiempos normales (TN) mediante (3) y (4).

$$TN = TO \times C / 100 \quad (3)$$

$$TN = TO \times C \quad (4)$$

Fuente: [2]

Así, (3) es una calificación expresada en porcentaje y (4) es expresada en decimal.

- C. Debido a los diferentes tipos de paradas o pausas que se pueden presentar en el estudio (interrupciones personales, como viajes al baño o a tomar agua, la fatiga que afecta incluso a los individuos más fuertes en los trabajos más ligeros; y los retrasos inevitables, como herramientas que se rompen, interrupciones del supervisor, pequeños problemas con las herramientas y variaciones del material), se hace necesario la adición de una holgura. El suplemento u holgura se da como una fracción del tiempo normal.
- D. Finalmente, se determina el tiempo estándar (TE) de cada operación de la línea de producción mediante (5) y (6). Se debe tener en cuenta que TN corresponde a la media de los tiempos normales de todos los ciclos registrados:

$$TE = TN + (TN \times \text{Holgura}) \quad (5)$$

$$TE = TN \times (1 + \text{Holgura}) \quad (6)$$

Fuente: [2]

En la fig. 2 se describen brevemente los pasos a seguir para el desarrollo del estudio de tiempos.

V. Resultados

Fase 1: análisis para el estudio de tiempos

De acuerdo con el registro de los tiempos observados en la prueba piloto, los ciclos que recomienda General Electric para cada operación se presentan en la tabla 2. Para la recolección de los datos se utilizó el cronómetro con el método de regresos a cero debido a que el tiempo que tomaba realizar cada una de las

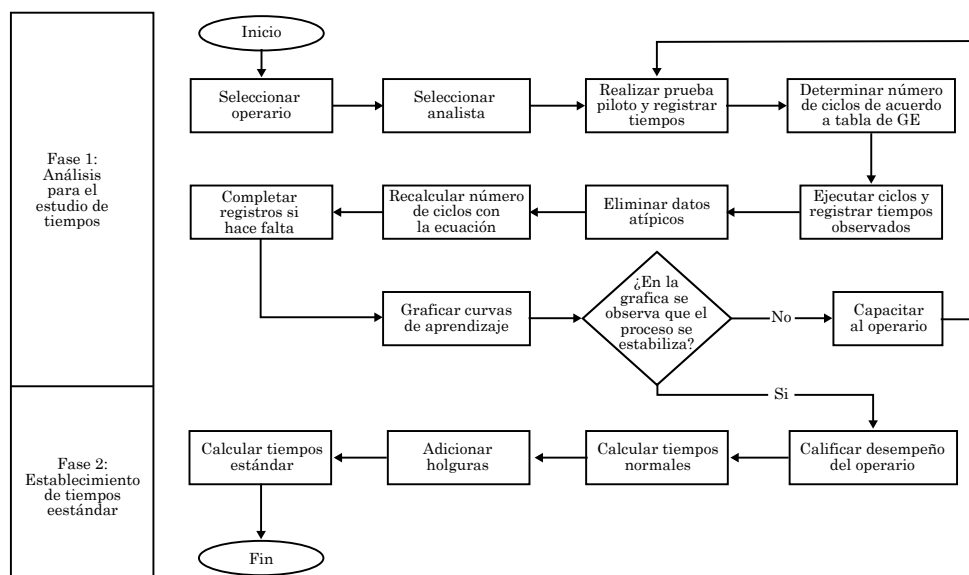


Fig. 2. Diagrama de la metodología.
Fuente: Autores.

TABLA 2. NÚMERO DE CICLOS ASIGNADOS SEGÚN GENERAL ELECTRIC Y REGLA TRES SIGMA.

Operación	Ciclos asignados según la GE	Media	Desviación	Valor crítico regla 3 Sigma	Intervalo de confianza		Número de observaciones dentro del intervalo	Porcentaje de observaciones dentro del intervalo
					Límite superior	Límite inferior		
Trazo y corte	10	338,925	32,231	23,055	361,980	315,870	2	20%
Ensamble de sillas	15	143,700	31,202	17,281	160,981	126,419	10	67%
Ensamble de mesas	60	37,160	23,206	4,928	42,088	32,231	13	22%
Colocación de accesorios	30	83,619	46,404	17,326	100,944	66,293	13	43%
Packing	30	84,044	20,771	7,755	91,800	76,289	20	67%

Fuente: Autores.

operaciones (o elementos) a registrar eran considerablemente largos al tardar en promedio más de 137,48 segundos, además, las actividades realizadas requerían de un cierto grado de habilidad, lo cual las hacía más dispendiosas; situación diferente si los tiempos hubiesen sido más cortos, pues en ese caso se hubiera tenido que hacer uso del método continuo. Una vez el número de ciclos asignados ha sido ejecutado, se procedió a aplicar la regla tres sigma con el fin de calcular el intervalo de confianza para identificar el porcentaje de datos que se ajustan al proceso. Los datos se muestran en la tabla 2.

Como se puede observar, sólo las operaciones de ensamble de sillas y *packing* tienen un rango de aceptación del 67%, el resto de las operaciones no supera el 43%; esto quiere decir que aún hace falta registrar más ciclos para que se ajusten al intervalo, además, es importante destacar que el número de ciclos sugeridos por GE está dirigido hacia aquellos procesos que

ya presentan comportamientos estables, lo cual no es el caso del proceso objeto de nuestro estudio.

Posteriormente, se recalculó el número de ciclos con (1). Se utilizó un nivel de significancia del 0,05 y los resultados se presentan en la tabla 3.

Es evidente la gran diferencia que existe entre el número de ciclos recomendado por GE y los calculados con la ecuación, esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, GE no considera procesos con comportamientos inestables. De acuerdo con el número de ciclos asignados con la ecuación, se grafican las curvas de aprendizaje, sin embargo, para el presente estudio sólo fue posible el registro de máximo 50 datos para cada una de las operaciones, las gráficas para las diferentes estaciones se muestran en la gráfica 1.

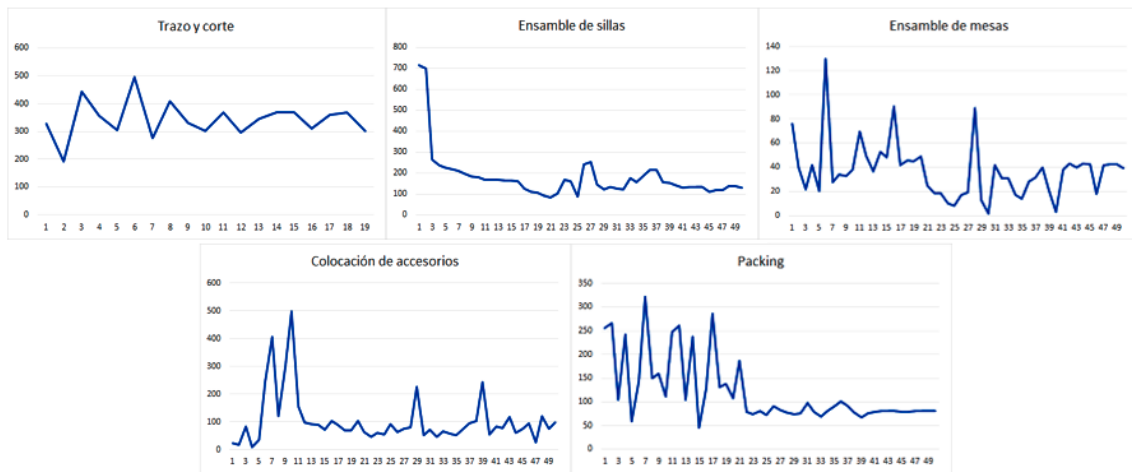
Como se puede observar en la gráfica 1, las operaciones de trazo y corte, ensamble de mesas y colocación de accesorios presentan un comportamiento inestable, esto quiere decir que hace falta el registro

UTILIZACIÓN DE CURVAS DE APRENDIZAJE E INTERVALOS DE CONFIANZA EN UN ESTUDIO DE TIEMPOS PARA EL CÁLCULO DE TIEMPOS ESTÁNDAR

TABLA 3. NÚMERO DE CICLOS ASIGNADOS SEGÚN LA ECUACIÓN

Operación	Media	Desviación	Estadístico			Número de ciclos asignados según la ecuación	Cantidad de ciclos faltantes en relación a GE
			t	z	valor critico unilateral		
Trazo y corte	338,925	32,231	x		2,262	19	9
Ensamble de sillas	143,700	31,202	x		2,145	87	72
Ensamble de Mesas	37,160	23,206		x	1,645	422	362
Colocación de Accesorios	83,619	46,404	x		2,045	515	485
Packing	84,044	20,771	x		2,045	102	72

Fuente: Autores.



Gráfica 1. Curvas de aprendizaje para las cinco operaciones.

Fuente: Autores.

de más datos hasta lograr observar que las curvas se estabilizan; por otro lado, se puede inferir que al operario le hace falta realizar más repeticiones para adquirir la experiencia que requiere su cargo. Lo anterior también se puede justificar con el bajo porcentaje de aceptación de datos dentro del intervalo puesto que las operaciones todavía no están listas para estandarizarse ya que el operario no ha logrado el nivel de aprendizaje deseado.

Por el contrario de las operaciones ya mencionadas, se puede observar que en el ensamble de sillas y *packing* las curvas de aprendizaje tienden a estabilizarse hacia el final de la gráfica, lo que significa que el operario ya ha adquirido la experiencia y el proceso está listo para estandarizarse. De igual forma, el porcentaje del 67% de aceptación de los datos dentro del intervalo de confianza confirma lo expuesto.

Para realizar un análisis más profundo y detallado sobre el comportamiento de las curvas presentadas se hace uso de la teoría de curvas de aprendizaje. En ésta se establece que, al doblar la producción, el tiempo utilizado para fabricar una unidad disminuye en proporción constante. La curva de aprendizaje sigue el comportamiento de (7).

$$Y = kx^n \quad (7)$$

Donde:

Y = tiempo de ciclo

k = tiempo del primer ciclo

x = número de ciclos o de productos

n = pendiente de la curva en el punto (por lo general, ésta tiende a ser negativa dado que lo ideal es que la curva disminuya con el tiempo)

Fuente: [16]

De la teoría de curvas de aprendizaje también se obtiene el porcentaje o tasa de aprendizaje (%A), el cual se expresa en (8).

$$\%Ai = \frac{TCM_{2i}}{TCM_i} = 2^n \quad (8)$$

Fuente: [16]

Y donde n se calcula con la derivada en el punto o con la expresión (9).

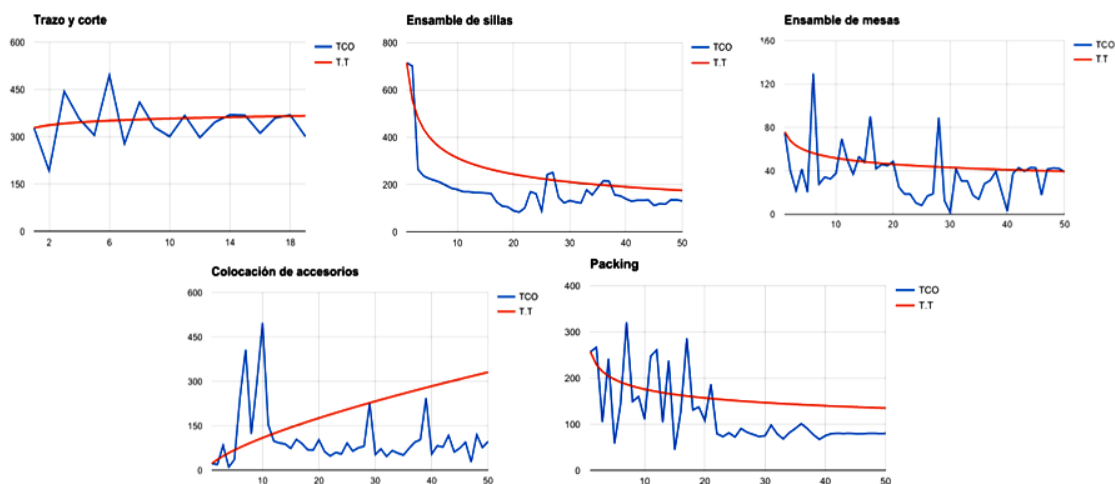
$$n = \frac{\text{Log}(\%A \text{ medio})}{\text{Log } 2} \quad (9)$$

Fuente: [16]

TABLA 4. RESUMEN DE DATOS TEÓRICOS DE LA CURVA DE APRENDIZAJE.

Operación	Trazo y corte	Ensamble de sillas	Ensamble de mesas	Colocación de accesorios	Packing
Número total de datos	19	50	50	50	50
%A1 (ciclo 2)	79,18%	99,05%	76,22%	92,75%	101,93%
%A2 (ciclo 4)	127,03%	67,67%	77,38%	164,24%	83,11%
%A3 (ciclo 8)	106,33%	72,11%	109,26%	347,89%	88,58%
%A4 (ciclo 16)	97,88%	74,62%	103,40%	124,10%	91,96%
%A5 (ciclo 32)	N/A	76,34%	79,28%	76,88%	80,56%
%A medio	102,60%	77,96%	89,11%	161,17%	89,23%
n	0,0371	-0,3593	-0,1664	0,6886	-0,1644
Ecuación teórica	$328,32*(X^{0,0371})$	$714,4*(X^{-0,3593})$	$75,9*(X^{-0,1664})$	$22,36*(X^{0,6886})$	$256,7*(X^{-0,1644})$
Error relativo promedio de los datos	13,29%	34,50%	37,44%	77,01%	40,36%

Fuente: Autores.



Gráfica 2. Comparación de las curvas de aprendizaje con datos experimentales y teóricos.

Fuente: Autores.

Con base en la teoría, se procede a calcular la ecuación de la curva de aprendizaje para cada una de las operaciones, esto con el fin de comparar la curva de los registros experimentales con los resultados teóricos de la ecuación. En la tabla 4 se presenta el resumen de los cálculos necesarios para el objetivo. Es importante resaltar que el porcentaje de aprendizaje se tiene en cuenta sólo cuando la cantidad de unidades producidas se dobla, es decir, cuando los ciclos se duplican (ciclo 2, ciclo 4, ciclo 8, ciclo 16 y ciclo 32).

Una vez se ha obtenido la ecuación de la curva de aprendizaje para cada una de las operaciones, se procede a graficar tanto la curva teórica (TT) como la curva experimental con base en los tiempos observados (TCO). En la gráfica 2 se presentan las comparaciones.

Como se puede observar, sólo las curvas tanto teórica como experimental del ensamble de sillas y *packing* se ajusta al modelo de la curva de aprendizaje, la cual va descendiendo con el pasar del tiempo. La curva teórica de trazo y corte y colocación de accesorios presenta un comportamiento ascendente, el cual se puede justificar con el coeficiente positivo de la pendiente (tabla 4), esto indica que hay un fenómeno de desaprendizaje, además, la gráfica experimental de trazo y corte presenta fluctuaciones muy altas, lo que hace que no se pueda identificar claramente la curva, y, en colocación de accesorios, hay presencia de cuatro picos que se desajustan al comportamiento del conjunto de datos, ocasionando que el error relativo promedio sea del 77,01% (tabla 4). En la gráfica de ensamble de mesas se puede apreciar un leve descenso en la curva

UTILIZACIÓN DE CURVAS DE APRENDIZAJE E INTERVALOS DE CONFIANZA EN UN ESTUDIO DE TIEMPOS PARA EL CÁLCULO DE TIEMPOS ESTÁNDAR

teórica, sin embargo, la curva experimental no es tan clara dada la fuerte presencia de fluctuaciones, esto indica que el operario está en proceso de aprendizaje pero que hay determinados factores que no le permiten llegar a su ritmo normal de trabajo.

Con respecto a la tasa o porcentaje de aprendizaje, se puede identificar que el ensamble de sillas, mesas y el *packing* presentan las menores tasas promedio con el 77,96%, 89,11% y 89,23%, respectivamente, lo que indica un descenso más pronunciado en la curva de aprendizaje mostrado en la gráfica 2. Además, es interesante anotar que con base en el estudio de T. P. Wright sobre el ensamble de aviones, la tasa de aprendizaje de sus trabajadores era del 80% [4], en nuestro caso, el ensamble de sillas, mesas y el *packing* presentan una tasa muy similar a la señalada en el estudio.

En resumen, dados los intervalos de confianza calculados anteriormente y la teoría de curvas expuesta, las operaciones de ensamble de sillas y *packing* son las operaciones que presentan un comportamiento estable y están listas para seguir con la siguiente fase en el establecimiento de tiempos estándar.

Fase 2: establecimiento de tiempos estándar

Una vez se ha identificado el ensamble de sillas y *packing* como los únicos procesos estables, se procede a calcular los tiempos estándar (TE) para esas operaciones.

Tal como fue mencionado en la metodología, el método de calificación que se empleó fue la calificación sintética, la cual sólo requiere de la división del tiempo observado (TO) entre el promedio de los tiempos observados. Con los datos de los tiempos observados y las calificaciones correspondientes se procedió a calcular los tiempos normales (TN). Posteriormente, se calculó el promedio de los tiempos normales obteniendo los resultados presentados en la tabla 5.

TABLA 5. RESUMEN DE TIEMPOS NORMALES, PORCENTAJES DE SUPLEMENTOS Y TIEMPOS ESTÁNDAR.

Operación	TN promedio (sg)	Porcentaje de suplementos	TE (sg)	TE (min)
Ensamble de sillas	254,67	11%	282,689	4,71
Packing	159,92	13%	180,711	3,01

Fuente: Autores

Para la adición de los suplementos, el grupo de trabajo utilizó la tabla 6 de “Holguras recomendadas por la ILO (Internacional Labour Office)” [2], sobre la cual el analista selecciona únicamente los factores que afectaron la realización de la operación asignando la puntuación correspondiente suministrada en la tabla. Posteriormente, se totaliza el número de puntos expresado como porcentaje o número decimal. Es importante tener en cuenta que la holgura se compone tanto de la holgura constante como de la holgura variable; en relación con la holgura constante, las necesidades per-

TABLA 6. HOLGURAS RECOMENDADAS POR ILO.

Holguras constantes	1	Holgura personal	5
	2	Holgura por fatiga básica	4
Holguras variables	1	Holgura por estar parado	2
	2	Holgura por posición anormal	
		Un poco incomoda	0
		Incómoda (flexionado)	2
		Muy incómoda (acostado, estirado)	7
	3	Uso de fuerza o energía muscular (levantar, arrastrar o empujar)	
		5 lb	0
		10 lb	1
		15 lb	2
		20 lb	3
		25 lb	4
	4	Mala iluminación	
		Un poco abajo de lo recomendado	0
		Bastante abajo de lo recomendado	2
		Muy inadecuada	5
	5	Condiciones atmosféricas (calor y humedad)	0 - 100
	6	Atención cercana	
		Trabajo bastante fino	0
		Trabajo fino o exacto	2
		Trabajo muy fino o muy exacto	5
	7	Nivel de ruido	
		Continuo	0
		Intermitente fuerte	2
		Intermitente muy fuerte	5
		De tono alto fuerte	5
	8	Esfuerzo mental	
		Proceso bastante complejo	1
		Espacio de atención complejo o amplia	4
		Muy complejo	8
	9	Monotonía	
		Baja	0
		Media	1
		Alta	4
	10	Tedio	
		Algo tedioso	0
		Tedioso	2
		Muy tedioso	5

Fuente: Adaptación de Tabla 11.9 Holguras recomendadas por ILO. [2]

sonales se han definido en un 5% que se traduce en 24 minutos de 8 horas de trabajo en un taller común, de acuerdo con verificaciones detalladas que se han realizado de la producción; y la fatiga básica se ha fijado en un 4% para una persona que tiene un trabajo suave en unas condiciones laborales óptimas y no requiere de gran uso de sus sistemas motrices o sensoriales [2]. Para el estudio de tiempos llevado a cabo en el presente artículo, se definió una holgura del 11% para el ensamble de sillas y del 13% para el *packing*, tal como se muestra en la tabla 5.

Finalmente, se calcularon los tiempos estándar para cada operación obteniendo que para el ensamble de sillas de un comedor (4 sillas), el operario se demora un tiempo de 4,71 minutos, y para el empaque de un comedor, el operario se tarda 3,01 minutos, como se muestra en la tabla 5.

VI. Conclusiones

De la experiencia descrita en el presente artículo se puede concluir que un proceso debería ser estandarizado si y sólo si éste ya presenta un comportamiento estable, de lo contrario, se procede a estandarizar el método de trabajo para garantizar que el operario conozca cómo realizar su labor y, por lo tanto, alcance su ritmo normal de operación. Una vez se ha obtenido el estándar del método, se procede con el estudio de tiempos para el cálculo de tiempos estándar. En el caso específico del sistema objeto del presente estudio, no fue posible calcular tiempos estándar para todos los procesos debido a la inestabilidad en su comportamiento, por lo tanto, de cinco procesos sólo dos se logran estandarizar, siendo estos: ensambles de sillas y *packing*.

Con relación a la curva de aprendizaje se puede concluir que es una herramienta útil para la observación de la estabilidad en los procesos productivos cuando se trabaja con talento humano debido a que una curva que tiende a estabilizarse indica que la persona ya tiene la experiencia necesaria y ha adquirido el aprendizaje con relación al método de trabajo y el uso adecuado de los recursos, lo que posiblemente se traducirá en eficiencia en la ejecución de los procesos. Adicionalmente, con la teoría de curvas de aprendizaje es posible estimar las tasas de aprendizaje de los trabajadores que realizan una labor, en este caso, se tiene que los porcentajes de aprendizaje más bajos son 77,96%, 89,11% y 89,23%, los cuales corresponden a ensamble de sillas, mesas y *packing*, respectivamente, estos porcentajes se encuentran cercanos al 80% como lo expuso T. P. Wright en 1936.

Finalmente, cabe destacar la importancia de los métodos estadísticos en el tratamiento de los datos al otorgar precisión y disminuir la incertidumbre y el error.

VII. Financiación

Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: "Utilización de curvas de aprendizaje e intervalos de confianza en un estudio de tiempos para el cálculo de tiempos estándar". Financiado por la Universidad de La Salle, grupo de investigación GIII, 2016.

Referencias

- [1] A. Jáuregui, *Los principios de la administración científica de Taylor e introducción al Fordismo*, feb. 2007. [En línea]. Disponible en: https://scholar.google.com.co/scholar?cluster=6463478198362450126&hl=es&as_sdt=0,5&scioldt=0,5
- [2] B. W. Niebel y A. Freivalds, *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*, Duodécima edición. México D.F, México: McGraw-Hill, pp. 327, 333, 340, 342-344, 361, 369, 2009.

- [3] A. Latiff, "La curva de aprendizaje. Qué es y cómo se mide," *Rev. Urología Colombiana*, vol. XIV, pp. 15-17, abr. 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.urologiacolombiana.com/index.php?id=110>
- [4] D.P. Ballesteros Riveros, P.P. Ballesteros Silva y C. Jaramillo Naranjo, "Aplicación de la lúdica en la curva de aprendizaje," *Scientia et Technica*, vol. 1, no. 27, pp. 185-190, abr. 2005. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4838467>
- [5] C. A. Ramírez Hernández, "Estudio de tiempos y movimientos en el área de evaporador". Tesis de pregrado, Univ. Tecnológica de Querétaro, Santiago de Querétaro, Qro, México, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.uteq.edu.mx/tesis/procesos/0500000257.pdf>
- [6] C. Rodríguez Gutiérrez, M. T. Romera García, J. J. Menéndez Rivera, J. L. Campillo, J. M. Mendieta Lázaro, E. Montabes Montabes, P. Arriola Bolado, E. Paniagua Caramanzana e I. Álvarez Martín, "Estudio de tiempos en el área de urgencia hospitalaria," *Gaceta Sanitaria*, vol. 6, no. 30, pp. 113-116, ene. 1992. [En línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213911192711017>
- [7] J. C. Vélez Zape, E. C. Montoya Restrepo y C. E. Oliveros Tascón, *Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café*. Chinchiná, Caldas, Colombia: CENICAFÉ, pp. 6-92, 1999.
- [8] F. Manzano Agugliaro y A. García Cruz, "Técnicas de estudio de tiempos para la planificación de la mano de obra en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de invernadero," *Agrociencia*, vol. 43, no. 3, may. 2009. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952009000300006&script=sci_arttext
- [9] R. A. Martínez Recalde, E. C. Montoya Restrepo, J. C. Vélez Zape y C. E. Oliveros Tascón, "Estudio de tiempos y movimientos de la recolección manual del café en condiciones de alta pendiente," *Cenicafé*, vol. 56, no. 1, pp. 50-66, jun. 2005. [En línea]. Disponible en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/115/1/arc056%2801%29050-066.pdf>
- [10] J. F. Alvis Gordo y M. A. Sotelo Muñoz, "Identificación de las causas que alteran el rendimiento de los equipos de extracción de madera: estudio de tiempos y movimientos," *Rev Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 7, no. 2, pp. 15-23, jul-dic., 2009. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000200003
- [11] F. E. Argote, P. C. Paz y R. Velasco, "Estudio de métodos y tiempos para obtención de carne de cuy (*Cavia porcellus*) empacada a vacío," *Rev Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 5, no. 2, pp. 103-111, ago. 2007. [En línea]. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/65/50>
- [12] M. A. Dahik Ayoub, "Estudio de tiempos y movimientos para mejorar el proceso de organización, almacenamiento y despacho de productos terminados en una fábrica de artículos plásticos para el hogar". Tesis de pregrado, Fac. Ing. Mec. y Cien. Prod. ESPOL, Guayaquil, Gye, Ecuador, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/12203/DAHIK%20AYOUB%20MARIO%20ALE-JANDRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] M. Taxis Flores, A. Mungaray Lagarda, M. Ramírez Urquidy y N. Ramírez Angulo, "Aprendizaje en microempresas de Baja California," *Estudios fronterizos*, vol. 12, no. 23, pp. 95-116, ene-jun. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://ref.uaabc.mx/ojs/index.php/ref/article/view/117>
- [14] E. Serna, G. Riaño, L. Almanza, J. De Los Ríos, J. Castañeda, G. Calle, R. Vásquez, A. Arango y A. Mejía, "Histerectomía laparoscópica total, curva de aprendizaje: experiencia de Clínica del Prado, Medellín, Colombia," *Revista chilena de obstetricia y ginecología*, vol. 75, no. 6, pp. 367-374, nov-dic. 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.revistasochog.cl/articulos/ver/409>
- [15] J. Herrero, J. A. Castro Uceda, A. García Romero y I. Lillo, "Cálculo de economías de escala y curvas de aprendizaje con el programa ViSta". Presentado en *VII Jornadas de ASEPUMA*, 1999. [En línea]. Disponible en: <https://www.uv.es/asepuma/VII/pap30.pdf>, <https://www.uv.es/asepuma/VII/tap30.pdf>
- [16] A. Caso Neira, *Técnicas de medición del trabajo*, II edición. Madrid, España: FC Editorial, pp. 24-28, 2006.